

Е. О. Пиндюрина, С. Г. Ковалев

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЭКЛОГИТОВ МАКСЮТОВСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Эклогиты представляют собой наиболее глубоко метаморфизованные разности ортопород максютовского комплекса с типоморфной минеральной ассоциацией: гранат пиральспитового ряда, пироксен (омфацит), рутил. Неизменные породы отличаются простым и постоянным минеральным составом, среди которых выделяются различные разновидности. На сегодняшний день известны классификации Б.В. Чеснокова [Чесноков, Попов, 1965], А.А. Алексеева [Алексеев и др., 2006] и В.И. Ленных [Ленных, 1968], в которых авторы объединяют эклогиты в группы, опираясь на особенности минералого-петрографического состава. Среди эклогитов максютовского метаморфического комплекса нами выделяются низко-, средне- и высокотитанистые эклогиты (содержания  $TiO_2$  до 2%, 2,1–3% и > 3,1% соответственно), а также практически неизученные графитовые эклогиты и эклогиты расслоенного тела (рис. 1).

**Низко-, средне- и высокотитанистые эклогиты**, как правило, характеризуются гранонематопорфиробластовой, порфиронематобластовой с элементами гипидиоморфнозернистой структурой. Текстура пород изменяется от массивной до сланцеватой и очково-сланцеватой. Минеральный состав включает (в об. %): гранат (15–30%), омфацит (25–40%), амфибол-I (10–15%), амфибол-II (5–10%), рутил (2–6%), мусковит (от 2–3% до 5–10%); эпидот (2–5%), апатит (5%), сфен (2–5%), хлорит (1–2%), кварц (1–5%).

**Графитовые эклогиты** обнаружены и описаны А.А. Алексеевым [Алексеев, Алексеева, 2000] и нами [Ковалев и др., 2011; Ковалев, Тимофеева, 2013] по берегам р. Сакмара ниже по течению от бывшей д. Караяново (см. рис. 1). На левом берегу р. Сакмара они залегают среди переслаивающихся слюдисто-кварцевых и графитисто-кварцевых сланцев, в пачке пород состоящей из графитистых кварцитов, графит-кварцевых, слюдяно-гранат-кварцевых, слюдисто-кварцевых сланцев и мусковитизированных и глаукофанализированных эклогитов. Мощность тела линзовидной формы составляет 0,5 м. На правом берегу р. Сакмара будинообразное тело графитовых эклогитов видимой мощностью до 15 м залегают в толще переслаивающихся гранат-слюдисто-кварцевых, с прослоями гранат-графит-кварцевых сланцев, гранат-кварцевых с амфиболом и пироксеном сланцев с телами мусковитизированных, глаукофанализированных и окварцованных эклогитов.

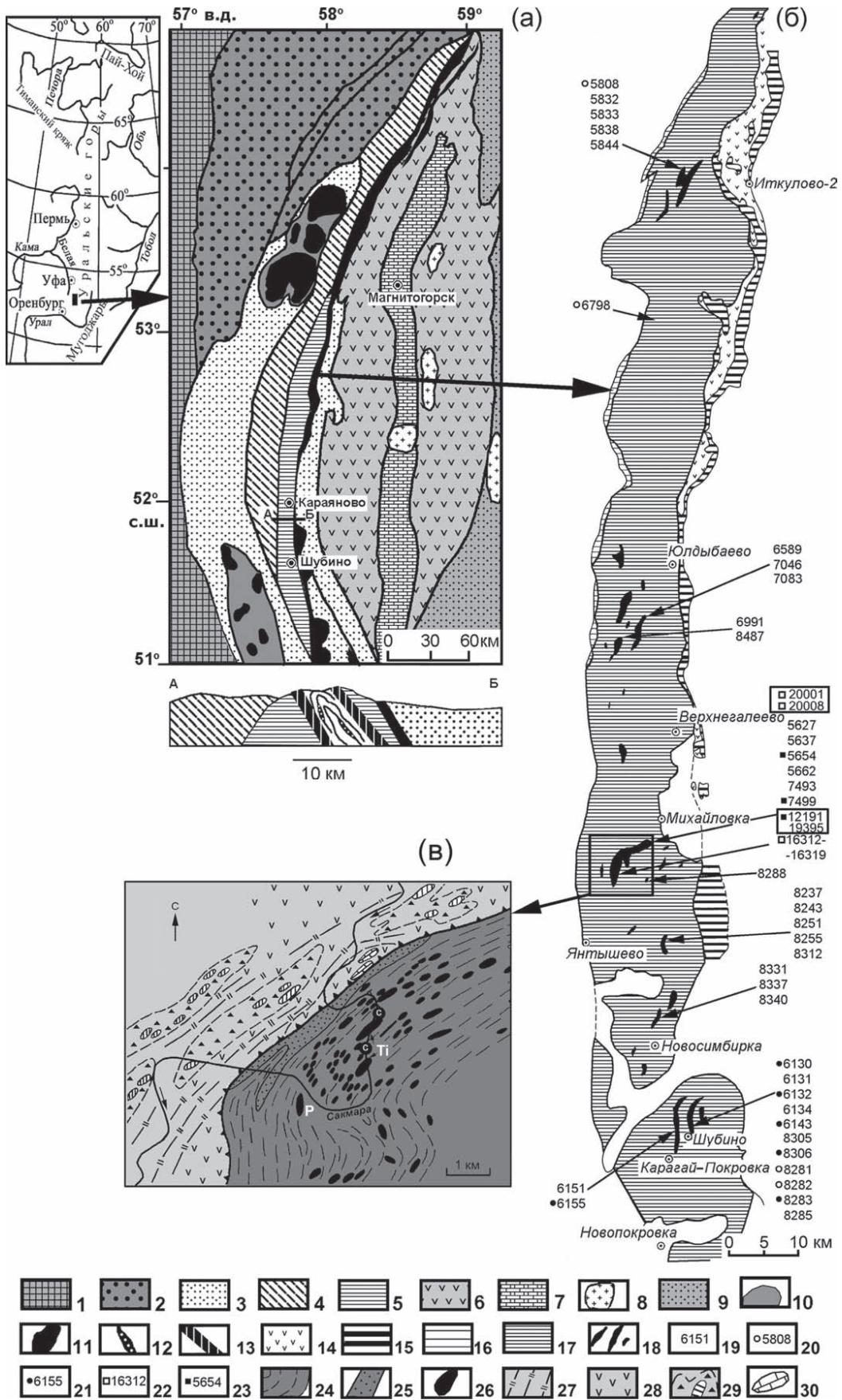
Графитовые эклогиты представляют собой мелко-среднезернистые темно-серые породы с мелкими выделениями розового граната и редкими шлировидными обособлениями зеленого омфацита. Для них характерны порфиронематобластовая и пойкилобластовая структуры и массивная с элементами шлирово-такситовой текстура. Породообразующие минералы представлены: гранатом (10–20%), омфацитом (60–70%), графитом (14–18%); акцессорные: сфеном (1,5%), апатитом (0,5%) и кварцем (редко).

Значительный интерес представляет **расслоенное тело**, метаморфизованное в условиях эклогитовой фации, верхний горизонт которого представлен глаукофанализированными эклогитами (горизонт основных пород), а нижний — тальк-энстатит-амфиболовыми сланцами (ультраосновной горизонт). Тело расположено на левом берегу р. Сакмара среди графит-слюдисто-кварцевых и гранат-слюдисто-кварцевых сланцев (см. рис. 1). Породы залегают почти вертикально с западным и восточным падением. Общая мощность тела составляет ~30–35 м, из которых около 5 м приходится на нижний горизонт, сложенный энстатитами, тальк-энстатитовыми, тальк-амфиболовыми (актинолитовыми) породами, часто имеющими радиально-лучистое строение. Мощность верхней эклогитовой части тела составляет ~25–30 м.

Эклогиты представлены породами от массивной до грубосланцеватой текстуры с порфиробластической структурой. В порфиробластах присутствует бурый или буровато-красный гранат, близкий по составу к гроссуляр-альмандину, со значительными вариациями пироповой составляющей. Его количество в породе составляет 20–40%, кристаллы имеют форму ромбодекаэдра со средними размерами 2–4 мм.

Тальк-энстатит-амфиболовые сланцы представляют собой породы гранонематобластовой структуры сланцеватой текстуры. Минеральный состав включает в себя энстатит, тальк, амфибол, хлорит и кварц.

По данным минералого-термобарометрических исследований, проведенных ранее [Brown et al., 2006], нижняя единица максютовского комплекса, с хорошо сохранившимися эклогит-глаукофан-сланцевыми минеральными ассоциациями, испытала пиковый метаморфизм при 17 кбар и температуре ~570°C. Вместе с тем ряд исследователей допускает,



что первоначальный пиковый метаморфизм мог осуществляться в пределах поля стабильности алмаза. Ранее в максютовском комплексе были описаны псевдоморфозы кварца по коэситу [Чесноков, Попов, 1965]. И хотя эти материалы далеко не всеми воспринимаются с полным доверием, к ним можно добавить данные о кубоидной морфологии некоторых обособлений графита в эклогитах, возможно, являющихся псевдоморфозами графита по алмазу [Leech, Ernst, 1998], что было подтверждено Б. Бостиком с соавторами, которые обнаружили в малослюдистых гнейсах несколько нанокристаллических агрегатов алмазов, возникших при относительно низких температурах около 650 °С и сверхвысоких давлениях, не менее 3,2 ГПа [Bostick et al., 2003].

Нами была выполнена оценка P-T параметров условий образования эклогитов методом мультиравновесной термобарометрии TWEEQU в программе TWQ [Berman, 1991] с базой данных Бермана–92 [Berman, 1988].

В общем случае до начала расчетов отбираются минералы, находящиеся в равновесии, однако для эклогитов максютовского комплекса не представляется возможным установить первичность клинопироксена и амфибола и, как следствие, равновесность их с гранатом и плагиоклазом. Поэтому при расчете P-T параметров методом мультиравновесной геотермобарометрии рассматривались все возможные системы, и отбирались только те, по которым были получены наиболее достоверные результаты. Точных критериев по отбору достоверных результатов, полученных с помощью программы TWQ, не существует, и в данной работе они приняты условно: приемлемыми результатами для системы с тремя независимыми реакциями считаются параметры  $dT \leq 30^\circ$  и  $dP \leq 1$  кбар ( $dT$  и  $dP$  — сходимости пучка по температуре и давлению). В тех случаях, когда равновесие между минералами эклогитовых парагенезисов явно не установлено либо недостаточно фаз для мультиравновесной термобарометрии,

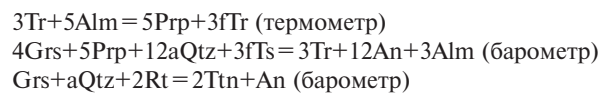
оценка P-T параметров производилась в программном комплексе TWQ с использованием классических термометров и барометров (термометры: гранат-амфиболовый, гранат-клинопироксеновый; барометры: гранат-амфибол-плагиоклаз-кварцевый, клинопироксен-плагиоклаз-кварцевый).

#### Оценки P-T параметров для низкотитанистого эклогита (обр. 19395)

Для расчетов были выбраны следующие фазы:

Кварц  $\text{SiO}_2$  (Qtz)  
 Плагиоклаз: анортит  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  (An)  
 Гранат: альмандин  $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  (Alm), пироп  $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  (Prp) и гроссуляр  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  (Grs)  
 Амфибол: тремолит  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  (Tr), ферротремолит  $\text{Ca}_2\text{Fe}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  (fTr), феррочермакит  $\text{Ca}_2(\text{Mg}_3\text{Fe}_2^{3+})\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  (fTsc)  
 Титанит  $\text{CaTi}(\text{SiO}_4)\text{O}$  (Ttn)  
 Рутил  $\text{TiO}_2$  (Rt)

Для системы  $\text{CaO}-\text{FeO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  (CFMATSH) были получены пучки с высокой степенью сходимости  $dT < 20^\circ$  и  $dP < 1$  кбар (рис. 2). Количество независимых реакций — 3:



Оценки температуры и давления составляют 680–700 °С и 24 кбар.

#### Оценки P-T параметров для графитового эклогита (обр. 12191)

Для расчетов были выбраны следующие фазы:

Кварц  $\text{SiO}_2$  (Qtz)  
 Плагиоклаз: анортит  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  (An) и альбит  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  (Ab)  
 Гранат: альмандин  $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  (Alm), пироп  $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  (Prp) и гроссуляр  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  (Grs)  
 Амфибол: тремолит  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  (Tr), ферротремолит

**Рис. 1.** Геологическая схема Южного Урала (а) и максютовского комплекса (б), с полями эклогитов (в), по [Вализер, Ленных, 1988; Bostick et al., 2003; Самыгин и др., 2005], с дополнениями и изменениями авторов

**Условные обозначения.** Для схемы (а): 1 — нерасчлененные отложения восточной части Восточно-Европейской платформы; 2 — нерасчлененные рифейские отложения Башкирского мегантиклинория; 3 — нерасчлененные отложения Зилаирского синклиория; 4 — нерасчлененные отложения суваньянского комплекса; 5 — нерасчлененные отложения максютовского комплекса; 6 — нерасчлененные вулканогенно-осадочные отложения Магнитогорского синклиория; 7 — нерасчлененные карбонатные отложения Магнитогорского синклиория; 8 — гранитные массивы; 9 — нерасчлененные отложения Мугоджарского и Ильменского блоков; 10 — нерасчлененные отложения Межкраинской и Сакмарской зон; 11 — гипербазиты; 12 — эклогиты; 13 — отложения югагузинской толщи. Для схемы (б): 14–15 — породы зоны ГУР (14 — основные вулканы, кремнистые сланцы, 15 — серпентиниты, блоки габбро, серпентинитовый меланж); 16 — высокотитанистые метагабброиды юлукского комплекса; 17 — максютовский метаморфический комплекс нерасчлененный; 18 — выходы эклогитов; 19 — эклогиты с содержанием  $\text{TiO}_2 < 2\%$ ; 20 — эклогиты с содержанием  $\text{TiO}_2$  2,1–3%; 21 — эклогиты с содержанием  $\text{TiO}_2 > 3,1\%$ ; 22 — породы расслоенного тела; 23 — графитовые эклогиты. Для схемы (в): 24–26 — нижняя серия: 24 — слюдяные и графитистые кварциты и сланцы с гранатом, глаукофаном, лавсонитом, 25 — слюдяные кварциты и сланцы, 26 — эклогиты (P — расслоенное тело, с — графитовые эклогиты, Ti — низкотитанистые эклогиты); 27–30 — верхняя офиолитовая серия: 27 — графитистые кварциты, 28 — метабазальты, 29 — зоны меланжа с антигоритовыми серпентинитами, «кальциевыми» эклогитами и лавсонитовыми родингитами, 30 — мраморы. **Примечание:** номера образцов эклогитов, выделенные черной рамкой, были использованы при расчете термодинамических параметров.

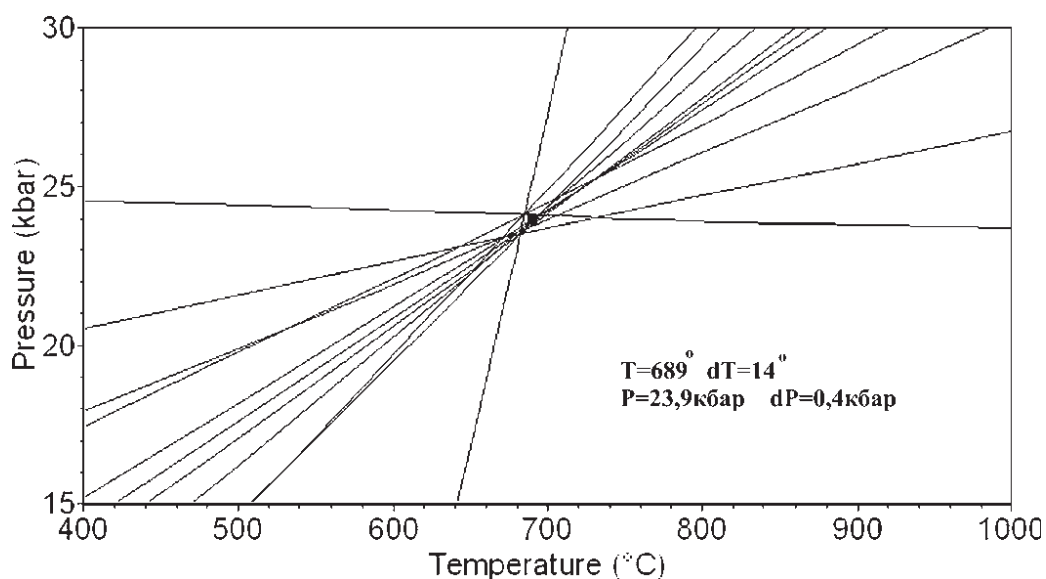


Рис. 2. Пучок для низкотитанистого эклогита (обр. 19395) в системе CFMATSH. Оценки температуры и давления приведены для данного конкретного пучка

$\text{Ca}_2\text{Fe}_3\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  (fTr), феррочермакит  $\text{Ca}_2(\text{Mg}_3\text{Fe}_2^{3+})\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  (fTsc)  
 Клинопироксен: диопсид  $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$  (Di), геденбергит  $\text{CaFe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$  (Hd), жадеит  $\text{NaAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$  (Jd)  
 Титанит  $\text{CaTi}(\text{SiO}_4)\text{O}$  (Ttn)  
 Рутил  $\text{TiO}_2$  (Rt)

В системе CFMATSH для ассоциации граната с включениями плагиоклаза, амфибола, кварца и титаносодержащих минералов — рутила и титанита

были получены пучки с параметрами  $dT < 32^\circ$  и  $dP < 0,7$  кбар (рис. 3). Независимые реакции, используемые при расчетах, аналогичны таковым для низкотитанистого эклогита в этой же системе. Оценки температуры и давления составляют  $660\text{--}710^\circ\text{C}$  и  $17\text{--}18,8$  кбар.

При расчете в системе  $\text{CaO}\text{--}\text{FeO}\text{--}\text{MgO}\text{--}\text{Al}_2\text{O}_3\text{--}\text{SiO}_2\text{--}\text{H}_2\text{O}$  (CFMASH) для ассоциации граната, плагиоклаза, амфибола и кварца, но без титаносодержащих

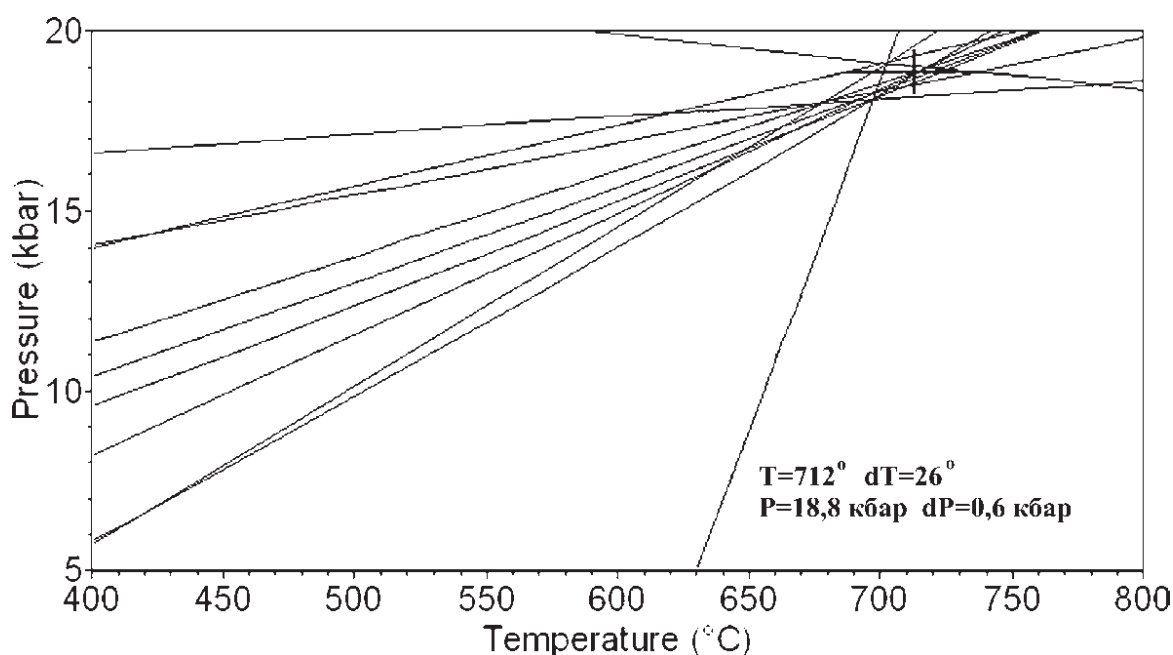


Рис. 3. Пучок для графитового эклогита (обр. 12191) в системе CFMATSH. Оценки температуры и давления приведены для данного конкретного пучка



минералов были использованы гранат-амфиболовый термометр и гранат-амфибол-плаггиоклаз-кварцевый барометр.

Для полученных оценок температуры и давления наблюдается некоторый разброс значений, связанный, вероятнее всего, с используемой в расчетах частью граната. Так, для края граната оценки составляют 660–750 °C и 17,7–19 кбар, а для центральной части — 630–650 °C и 16,5 кбар (рис. 4).

В системе CaO–Na<sub>2</sub>O–FeO–MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O (CNFMASH) для ассоциации граната, клинопироксена, плаггиоклаза и кварца были использованы гранат-клинопироксеновый термометр и клинопироксен-плаггиоклаз-кварцевый барометр. Полученные оценки температуры и давления составляют 500–580 °C и 14–15,5 кбар (рис. 5).

**Оценки PT параметров для эклогитов  
расслоенных тел (обр. 20001, 20008)**

Для расчетов были выбраны следующие фазы:

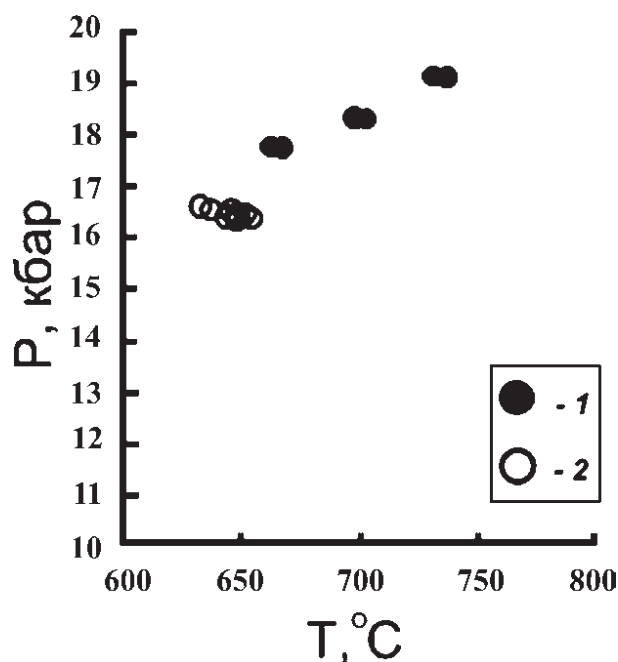
Кварц SiO<sub>2</sub> (Qtz)

Плаггиоклаз: анортит CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (An) и альбит NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (Ab)

Гранат: альмандин Fe<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub> (Alm), пироп Mg<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub> (Prp) и гроссуляр Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub> (Grs)

Клинопироксен: диопсид CaMg(Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) (Di), геденбергит CaFe(Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) (Hd), жадеит NaAl(Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) (Jd)

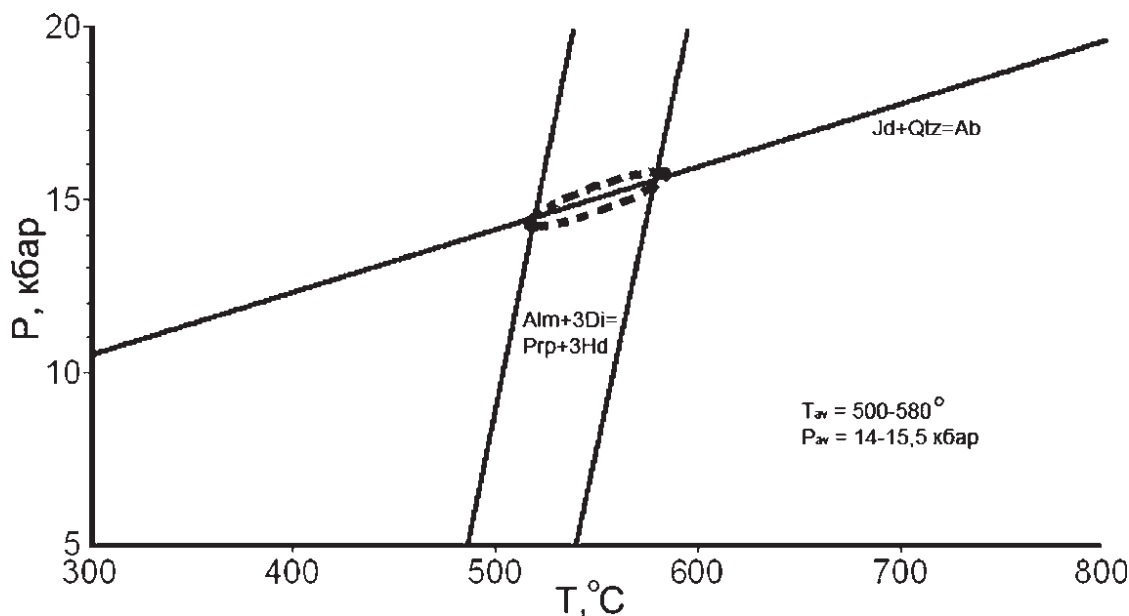
Для обоих образцов в системе CNFMASH для ассоциации граната, клинопироксена, плаггиоклаза и кварца были использованы гранат-клинопироксеновый термометр и клинопироксен-плаггиоклаз-кварцевый барометр.



**Рис. 4. Распределение полученных оценок температуры и давления для графитового эклогита (обр. 12191) в системе CFMASH в зависимости от выбранной части граната**

Условные обозначения: 1 — оценки температуры и давления для края граната, 2 — оценки температуры и давления для центральной части граната.

Для полученных оценок температуры и давления наблюдается разброс в зависимости от выбранной части граната. Для образца 20001 в краевой части граната температура и давление составляют 600–700 °C и 16–17,8 кбар, а в центральной — 380–



**Рис. 5. Оценки температуры и давления для графитового эклогита (обр. 12191) в системе CNFMASH**

570°C и 12–15,5 кбар. Для образца 20008 для центральной части граната оценки составляют 600–815°C и 15,8–19,7 кбар, а для краевой — 400–530°C и 12,3–14,7 кбар. При этом расчеты для граната и клинопироксена в виде включений в гранате дают более узкий интервал оценок: 610–730°C и 16–18 кбар для центральной части и 410–430°C и 12,5–13 кбар для краевой.

Таким образом, при близости температур образования минеральных парагенезисов низкотитанистых, графитовых эклогитов и эклогитов расслоенного тела наблюдается значительный разброс по давлению. По нашему мнению, вариации давления обусловлены тем, что в процессе эксгумации комплекса, тектонически совмещенными в пространстве оказались эклогиты, сформировавшиеся на различных по глубинности уровнях субдуцирующей плиты.

Процесс преобразования субстрата, сформировавшего максютовский метаморфический комплекс в качестве самостоятельной структурно-вещественной единицы, в обобщенном виде можно представить следующим образом:

— в результате субдукции океанической плиты на восток под формирующуюся Магнитогорскую островную дугу на значительной глубине оказались раннепалеозойские породы, слагавшие океаническую кору (рис. 6а), представлявшую собой довольно «пестрое» образование, состоящее из структурно-вещественных комплексов кембрий (?)–ордовик-силурийского (?) возраста. Если за условный репер взять графитовые сланцы, относительно широко распространенные в максютовском комплексе и первоначально представлявшие собой углеродсодержащие породы, то аналоги известны в терригенных типах разрезов раннего ордовика, выделенных в восточной части Эбетинской антиформы, которые состоят из аркозовых песчаников, алевролитов с незначительным объемом кремней и базальтов [Рязанцев, 2012]. Для магматических пород кембрийско-ордовикского возраста характерен широкий разброс геохимических характеристик и, как следствие этого, многообразие реконструируемых геотектонических обстановок: кембрийские вулканы Сакмарской зоны — рифтовые, океанических островов и островодужные обстановки; ордовикские вулканы поляковской свиты — обогащенные базальты СОХ, островодужные и внутриплитные обстановки [Рязанцев, 2012]. Поэтому, вслед за Л.А. Карстен с соавторами [1993], мы считаем, что нижняя структурная единица максютовского комплекса «континентального» типа представляет собой верхнюю часть раннепалеозойской океанической коры, в которой тектонически совмещены структурно-вещественные комплексы ранних стадий разви-

тия палеоуральского океана. Время «основного» процесса эклогитизации определено достаточно уверенно —  $378 \pm 6$  млн лет [Lennykh et al., 1995; Beane, Connelly, 2000; Hetzel, Romer, 2000; Glodny et al., 2002], хотя существуют и более древние датировки —  $388 \pm 4$  млн лет [Leech, Willingshofer, 2004].

— в процессе эксгумации пород максютовского комплекса (370 млн лет по [Beane, Connelly, 2000; Hetzel, Romer, 2000]) произошло не только совмещение верхней серии с нижней, но и широкое развитие деформаций пликативного типа со сдвигами, что привело к совмещению в пространстве эклогитовых тел, сформировавшихся по породам различной формационной принадлежности (см. рис. 6б). Принципиальным следует считать то, что эксгумироваться могли только блоки с преобладающим количеством осадочных пород, которые меняют свои плотностные характеристики при высокобарическом метаморфизме незначительно. Большая часть океанической коры с преобладанием базальтов различного типа была субдуцирована в мантию, возможно, с отрывом нижней части слэба, связанным с нарастанием растягивающих напряжений и дальнейшей эклогитизацией базальтов с увеличением их плотности.

— на конечных этапах процесса эксгумации формируются зоны меланжа, а при сдвиговых деформациях с большими дифференциальными скоростями — «зоны бластомилонитизации», по [Вализер, 2011] (см. рис. 6в). Вероятнее всего, на этой стадии формируются собственно глаукофановые сланцы и происходит наложение глаукофановой минерализации на эклогитовые комплексы. Оценка роли натрового метасоматоза, источника флюидов и давления  $H_2O$  в этом процессе детально рассмотрена в ранее опубликованных работах [Вализер, Ленных, 1988]. При этом относительно малый временной интервал между окончанием процесса эклогитизации пород и их выводом на поверхность (фамен — по находкам граната и глаукофана в песчаниках зилаирской серии [Аржавитина 1976; Алексеев, 1990]), вероятнее всего, обусловлен тем, что «механический» пересчет давления на глубину погружения пород комплекса в данной ситуации неприменим. Более реально предположение о том, что эклогиты сформировались в результате комбинированного давления (литостатическое давление + стресс ± флюидное давление [Puchkov, 1989]), что в значительной степени уменьшает время эксгумации.

Заканчивается «активная» история формирования максютовского комплекса как структурно-вещественной единицы около  $300 \pm 25$  млн лет, когда породы прошли через геотерму 110°C [Leech, Stockli, 2000].

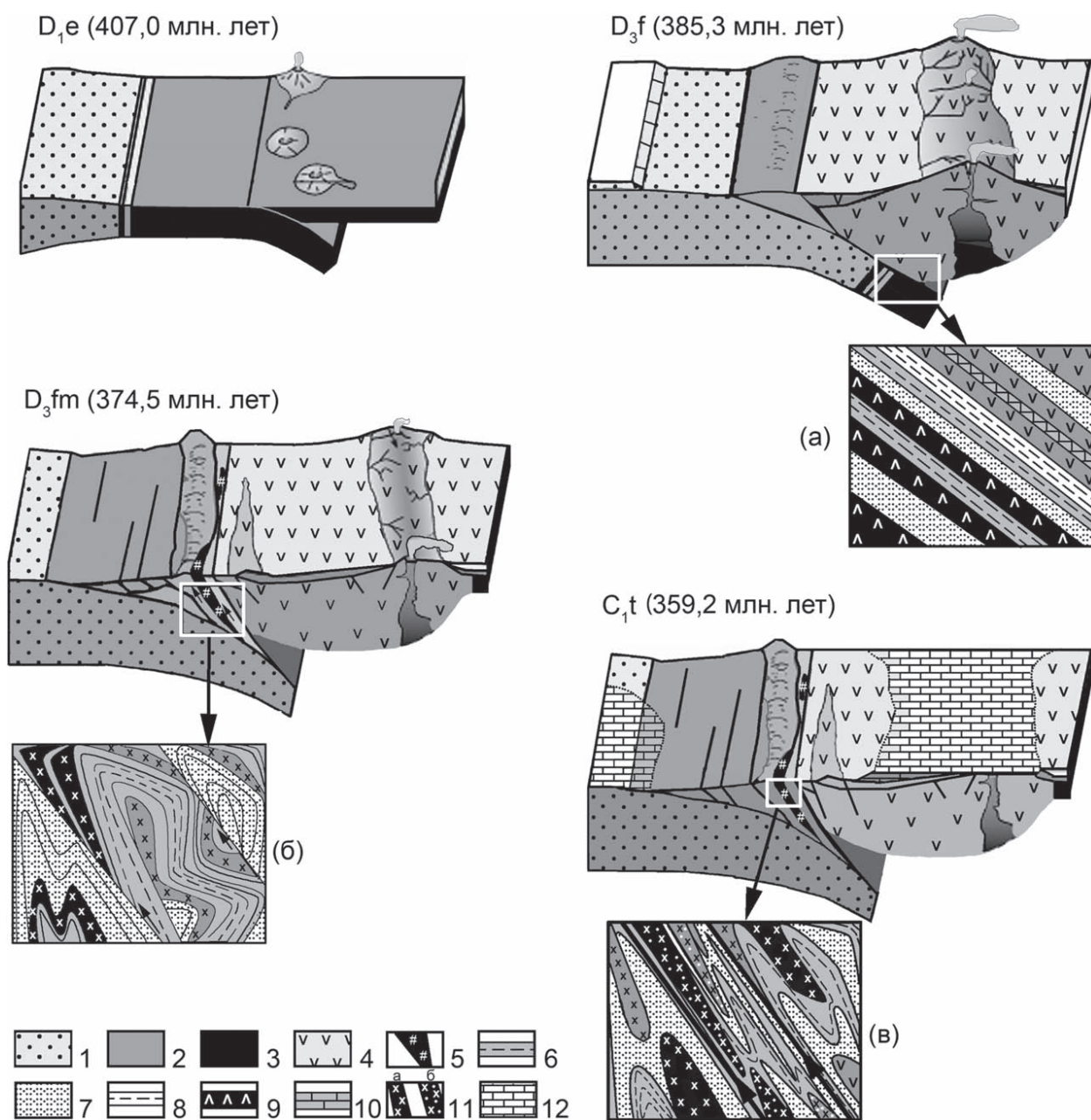


Рис. 6. Геодинамическая реконструкция развития Южного Урала в девонско-раннекаменноугольное время, по [Brown et al., 2006], с дополнениями и изменениями, и упрощенные схемы эволюции протолита

Условные обозначения: 1 — континентальная кора; 2 — осадочные отложения преддугового и задугового бассейнов; 3 — океаническая кора; 4 — островодужные отложения; 5 — максютовский комплекс; 6 — углеродсодержащие сланцы; 7 — песчаники; 8 — глинистые сланцы; 9 — магматические породы ранних стадий развития палеоуральского океана; 10 — карбонатные породы; 11 — эклогиты (а) и глаукофанизированные эклогиты (б); 12 — нерасчлененные раннекаменноугольные отложения.

Подводя итог изложенному выше материалу, следует констатировать, что термодинамические параметры образования минеральных парагенезисов эклогитов максютовского метаморфического комплекса фиксируют сложную историю его становления в качестве структурно-вещественной единицы.

#### Литература:

Алексеев А.А. О некоторых проблемных вопросах геологии позднего докембрия западного склона Урала в связи с изучением магматизма и метаморфизма // Геология докембрия Южного Урала и востока Русской плиты. — Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1990. — С. 5—19.

**Алексеев А.А., Алексеева Г.В.** Графитовый эклогит из максютовского метаморфического комплекса, Южный Урал // Докл. РАН. – 2000. – Т. 372, № 1. – С. 86–88.

**Алексеев А.А., Алексеева Г.В., Галиева А.Р., Тимофеева Е.А.** Метаморфическая геология западного склона Южного Урала. – Уфа: Гилем, 2006. – 212 с.

**Аржавитина М. Ю.** Расчленение зилаирской свиты Магнитогорского мегасинклинария по минеральным компонентам // Докл. АН СССР. – 1976. – Т. 229, № 3. – С. 679–682.

**Вализер П. М.** Гранат эклогитов высокобарических комплексов Урала // Литосфера. – 2011. – № 5. – С. 53–69.

Вализер П.М., Ленных В.И. Амфиболы голубых сланцев Урала. – М.: Наука, 1988. – 203 с.

**Карстен Л.А., Иванов К.С., Пучков В.Н.** Новые данные о геологическом строении и метаморфизме эклогит-глаукофансланцевого комплекса (Южный Урал) // Ежегодник–1992 / ИГиГ УрО РАН. – Свердловск, 1993. – С. 20–25.

**Ковалев С.Г., Тимофеева Е.А.** Первые данные по геохимии и изотопии углерода графитовых эклогитов максютовского комплекса (Южный Урал) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. – 2013. – № 3. – С. 8–11.

**Ковалев С.Г., Тимофеева Е.А., Пиндюрина Е.О., Ковалев С.С.** Геохимия и условия образования эклогитов максютовского комплекса // Геологический сборник № 9 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2011. – С. 173–185.

**Ленных В.И.** Региональный метаморфизм докембрийских толщ западного склона Южного Урала и хребта Урал-Тай: Путеводитель экскурсии. – Свердловск: УФАН СССР, 1968. – 66 с.

**Рязанцев А.В.** Ордовикские структурно-вещественные комплексы западной части Магнитогорской мегазоны и краевых аллохтонов Южного Урала: строение и обстановки формирования: Автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. – М., 2012. – 29 с.

**Самыгин С.Г., Милев В.С., Голионко Б.Г.** Зона Урал-тай: геодинамическая природа и структурная эволюция // Очерки по региональной геотектонике. – М.: Наука, 2005. – Т. 1. – С. 9–35. – (Труды ГИН РАН; Вып. 561).

**Чесноков Б.В., Попов В.А.** Увеличение объема зерен кварца в эклогитах Южного Урала // Докл. АН СССР. – 1965. – Т. 162, № 4. – С. 909–910.

**Beane R.J., Connelly J.H.**  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , U-Pb and Sm-Nd constraints on the timing of metamorphic events in the Maksyutov Complex, Southern Ural Mountains // Journal of the Geological Society. – 2000. – V. 157. – P. 811–822.

**Berman R.** Internally-consistent thermodynamic data for stoichiometric minerals in the system  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  // Journal of Petrology. – 1988. – V. 29. – P. 445–522.

**Berman R.** Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications // Canadian Mineralogist. – 1991. – V. 29. – P. 833–855.

**Bostick B.C., Jones R.E., Ernst W.G. et al.** Low-temperature microdiamond aggregates in the Maksyutov Metamorphic Complex, South Ural Mountains, Russia // Amer. Mineralogist. – 2003. – V. 88. – P. 1709–1717.

**Brown D., Spadea P., Puchkov V. et al.** Arc-continent collision in the Southern Urals // Earth-Science Reviews. – 2006. – V. 79. – P. 261–287.

**Glodny J., Bingen B., Austrheim H. et al.** Precise eclogitization ages deduced from Rb/Sr mineral systematics: the Maksyutov Complex, Southern Urals, Russia // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2002. – V. 66. – P. 1221–1235.

**Hetzel R., Romer R.L.** A moderate exhumation rate for the high-pressure Maksyutov Complex, Southern Urals, Russia // Geological Journal. – 2000. – V. 35. – P. 327–344.

**Leech M.L., Ernst W.G.** Graphite pseudomorphs after diamond? A carbon isotope and spectroscopic study of graphite cuboids from the Maksyutov Complex, south Ural Mountains, Russia // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1998. – V. 62, No 12. – P. 2143–2154.

**Leech M.L., Stockli D.F.** The late exhumation history of the ultrahigh-pressure Maksyutov Complex, south Ural Mountains, from new apatite fission-track data // Tectonics. – 2000. – V. 19. – P. 153–167.

**Leech M.L., Willingshofer E.** Thermal modeling of the UHP Maksyutov Complex in the south Urals // Earth and Planetary Science Letters. – 2004. – V. 226. – P. 85–99.

**Lennykh V.I., Valiser P.M., Beane R. et al.** Petrotectonic evolution of the Maksyutov complex, southern Ural Mountains, Russia: implications for ultrahigh-pressure metamorphism // International Geology Review. – 1995. – V. 37. – P. 584–600.

**Puchkov V.N.** The collisional origin of the eclogite-glaucophane-schist belt of the Urals // Ofioliti. – 1989. – V. 14 (3). – P. 213–220.